

## 複数参照座標系の点群データからの半自動統合地図生成システム

秋山 英久† 竹内 栄二郎‡ 田所諭‡ 下羅弘樹† 野田五十樹†

†(独)産業技術総合研究所 情報技術研究部門 ‡東北大学

### 1 はじめに

震災やテロなどの災害時の情報収集をより安全に遂行するために、遠隔操縦型探査ロボットによる環境情報の収集が期待されている。本稿では、複数台ロボットが収集したセンサ情報に基づく統合地図の構築を目的とし、地理情報システムへ集約された複数参照座標系の3次元点群データからひとつの統合地図を半自動で生成するフレームワークを提案する。

### 2 移動ロボットによる地図生成

移動ロボットによる環境地図生成タスクの研究では、測域センサデバイスによって観測された点群データを用いてロボットの周囲の形状を計測するアプローチが多い[1]。一方で、複数台ロボットのセンサ情報の統合や、既存地図データの利用への対応は十分とは言えない。本稿では、これらの問題を解決するための統合地図生成フレームワークとして、地理情報データベースを用いた情報集約、人間のオペレータによる介入を許容する参照座標系変換の仕組みを提案する。

### 3 統合地図生成フレームワーク

本稿で開発する統合地図生成システムでは、地理情報データベースへの情報集約を行った上で、観測された点群データを用いることで複数台ロボットの位置姿勢情報を修正し、統合地図上へマッピングする。位置姿勢情報を修正する手法として、グラフ修正法を用いる[2]。

#### 3.1 地理情報データベースへの情報集約

我々の地図生成システムでは、複数台ロボットによって収集された点群データを集約するために、地理情報データベース DaRuMa(Database for Rescue Utility MAnagement)[3]を用いる。DaRuMaは減災情報共有プロトコル(Mitigation Information Sharing Protocol: MISP)[4]を実装したサーバプログラムである。

DaRuMaによって、地理表現、時刻表現を構造化してデータベース上で柔軟に扱うことが可能となるだけでなく、参照座標系変換情報のフィードバックも可能となる。

#### 3.2 グラフ修正法

グラフ修正法では、観測されたロボットの位置姿勢をグラフのノードとし、2つのノード間の相対位置関係とその誤差分散を拘束条件と定義する。誤差分散が大きいほど、ロボットの位置姿勢情報の信頼性が低いことを意味する。グラフ修正法は以下の3ステップで実行される。

1. ノードの生成
2. 拘束条件の生成
3. ノード位置の最適化

#### 3.3 ノードの生成

ロボットから新しい点群データが登録されると自動的に新規ノードが生成される。ある時刻 $t$ におけるノード $p(t)$ は、以下のように6自由度の情報として表される:

$$p(t) = (x, y, z, roll, pitch, yaw)^t$$

観測された位置姿勢情報に加えて、参照座標系内の原点位置を特別なノード $p_{origin}$ として扱う:

$$p_{origin} = (0, 0, 0, 0, 0, 0)^t$$

$p_{origin}$ によって、観測データと既知のランドマークとを拘束条件で関連付けることができる。

#### 3.4 拘束条件の生成

本稿で扱う拘束条件は、以下の3種類に分類される。

- オドメトリによる拘束条件
- 3次元形状マッチングに基づく拘束条件
- 人間の観察に基づく教示情報による拘束条件

拘束条件は任意の時点で追加/削除することができる。図1に拘束条件の例を示す。

Semi-automatic Map Building System using Point Cloud Data in Multiple CRSs

†Hidehisa Akiyama ‡Eijiro Takeuchi ‡Satoshi Tadokoro †Hiroki Shimora †Tsuki Noda

†Information Technology Research Institute, AIST

‡Tohoku University

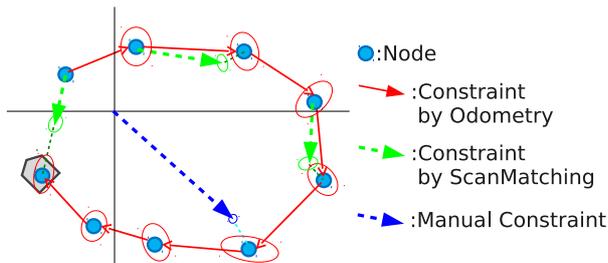


図 1: 拘束条件の例.

### 3.4.1 オドメトリによる拘束条件

ロボット自身が推定した位置姿勢情報に基づいてノード間の相対的な位置関係を導出し、拘束条件として使用する。この拘束条件は、同一ロボットの時間的に連続したノード間で自動生成される。

### 3.4.2 3次元形状マッチングによる拘束条件

3次元形状マッチングによって、ある参照ノードに対する入力ノードの相対的な位置姿勢が修正される。これを拘束条件として使用する。本稿では、時間的に連続なノード間では自動でマッチングを行い、それ以外の組み合わせは人間のオペレータが選択実行する。

### 3.4.3 人間の観察に基づく教示情報による拘束条件

参照用の地図データが利用可能である場合、それに対してノードの位置合わせを行うことで、統合地図の精度を大きく向上させることができる。  $p_{origin}$  に対する拘束条件を作成することで、ロボット参照座標系を統合参照座標系へマッピングすることができる。

### 3.4.4 ノード位置の最適化

ノード位置の最適化では、与えられた拘束条件に対してノード位置の同時確率を最大化するようなノード位置の変位量を求める。これは、巨大な連立方程式を解く問題として帰着される [2]。

## 4 評価実験

提案するフレームワークを実装し、実ロボットが観測した3次元点群データを用いて統合地図を生成する実験を行った。一台のロボットから DaRuMa ヘデータを送信し、ロボットが約 90m 移動する間に 133 個の点群データを登録した。ノード位置の最適化実行前と実行後のロボットの位置測定誤差を図 2 に示す。図より、人手で数個の拘束条件を与えるだけで、位置測定誤差を大幅に減少できることが確認できる。

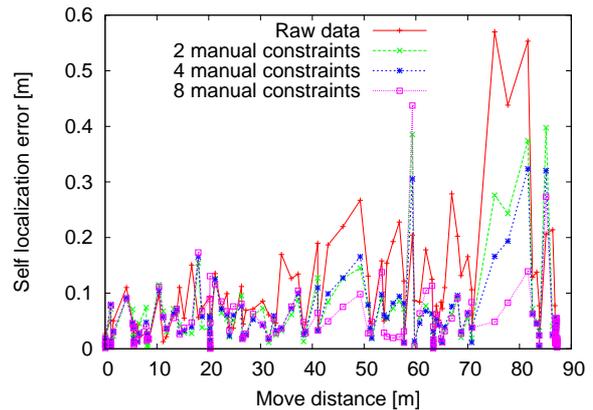


図 2: ロボットの移動距離と推定位置の誤差.

## 5 まとめ

本稿では、複数台の移動ロボットが収集する3次元点群データから統合地図を半自動で生成するために、地理情報データベースとグラフ修正法を利用したフレームワークを提案した。フレームワークを実装した地図生成システムを用いて、実データを用いた評価実験を行い、有効性を確認した。

## 謝辞

本研究は、NEDO 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト 被災建造物内移動 RT システム (特殊環境用ロボット分野) 閉鎖空間内高速走行探査群ロボットによる研究助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 大野和則, 竹内栄二郎, 坪内孝司. 投光型距離センサを用いた三次元 SLAM. Vol. 26, No. 04, pp. 6-9, 2008.
- [2] Eijiro Takeuchi and Takashi Tsubouchi. Multi Sensor Map Building based on Sparse Linear Equations Solver. In *Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2511-2518, 2008.
- [3] Itsuki Noda et. al. DaRuMa: Disaster Mitigation Information Sharing System and Integration of Rescue Information Systems. In *SI-2006*, pp. 2A4-2, 2006.
- [4] Itsuki NODA. Communication Protocol and Data Format for GIS Integration. In *Proc. of the 2nd International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*, 2005.